

Schone energie uit de ruimte

Een nieuwe techniek van
duurzame energieopwekking

Rijkert Knoppers



Eburon
Utrecht 2024

ISBN 978-94-6301-526-4

Academische Uitgeverij Eburon, Utrecht
www.eburon.nl

Op de omslag: Integrated symmetrical concentrator solar power satellite (ISC SPS), NASA
Foto auteur: Heske Knoppers

Omslagontwerp: Textcetera, Den Haag
Grafisch ontwerp: Dolna Elija Book Design & Outsourcing, Kostandenets, Bulgarije

© 2024 R. Knoppers. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of op enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de rechthebbende.

Inhoud

Afkortingen	7
Tijdslijn	11
Voorwoord	13
1. Inleiding	15
2. Energetische winst	19
3. Geschiedenis	23
3.1 Verenigde Staten	25
3.2 Japan	32
3.3 China	35
3.4 Rusland	37
3.5 Europa	38
3.6 India	42
4. Verschillende concepten zonnepanelen	45
4.1 Inleiding	45
4.2 Zwevende zonnecentrales	46
4.3 De maan als basis?	64
5. Keuze zonnecellen	71
6. De constructie van panelen	79
7. Hoe verstuur je de stroom?	83
7.1 Microgolf	83
7.2 Laserstralen	89
8. Ontvangst elektriciteit op aarde	93

9. Milieu en gezondheid	97
10. Militaire aspecten	103
11. Economische vragen	111
12. Zonnesatellieten: waar gaat het heen?	117
Bronnen	121
Herkomst afbeeldingen	159

Tijdslijn

- 1897 Nikola Tesla krijgt patent op het draadloos verzenden van energie. [84]
- 1925 Konstantin Tsiolkovsky stelt voor om zonne-energie in de ruimte te gaan winnen [97]
- 1941 Isaac Asimov vertelt in zijn verhaal *Reason* over een zonn satelliet [17]
- 1961 William (Bill) Brown publiceert over het gebruik van microgolven [84]
- 1964 Bill Brown toont op TV een helikopter, die draadloos energie ontvangt [84]
- 1968 Peter Glaser formuleert een concept van een zonn satelliet [45]
- 1973 Glaser patenteert het idee van een zonn satelliet [45]
- 1973 Japan begint het Sunshine plan, met o.m. aandacht voor de Solar Power Satellite [84]
- 1975 Bill Brown verzendt een 34 kW microgolf draadloos over een afstand van 1,6 km [84]
- 1977 DOE/NASA initieert het Concept Development and Evaluation Program (CDEP) [45]
- 1979 ESA publiceert de studie European Aspects of Solar Power Satellites [84]
- 1980 DOE/NASA publiceert het CDEP eindrapport [45]
- 1980 DOE/NASA beëindigt onderzoeksactiviteiten rond SPS vanwege de hoge kosten [45]
- 1981 Publicatie “Electric Power From Orbit: A Critique of a Satellite Power System” [45]
- 1981 Publicatie “Solar Power Satellites, Office of Technology Assessment” [45]
- 1982 De Japanse werkgroep SEEL gaat het winnen van energie uit de ruimte bestuderen. [45]
- 1986 SPS’86, de eerste internationale conferentie over zonn satellieten. [84]
- 1991 Het SELENE-project (Space Laser ENergy) wil energie naar de maan over-
seinen. Het programma eindigde in 1993 zonder resultaat. [17]
- 1997 NASA publiceert de *Fresh Look* studie [17]
- 1998 De “Space Solar Power Concept Definition Study” bespreekt SPS concep-
ten [17]
- 1999 Start SERT (Space Solar Power Exploration Research and Technology) pro-
gram [17]
- 2001 Het Japanse NASDA wil een experimentele zonn satelliet lanceren [17]

- 2003 Het Europese SPS-programma bestudeert zonne-energie op aarde en in de ruimte [84]
- 2005 John Mankins verlaat NASA [78]
- 2007 NASA wil met een model satelliet het overseinen van energie demonstreren. [211]
- 2010 De Indian Space Research Organisation wil zonn satellieten in de ruimte sturen [17]
- 2010 Het ruimtevaartbedrijf EADS Astrium wil stroom in de ruimte opwekken. [198]
- 2010 De Kobe Universiteit test draadloze energieverzending tussen Hawaii en Haleakala [84]
- 2011 Mankins ontwikkelt een nieuw concept zonnecentrale, de SPS-ALPHA [09]
- 2012 China wil samen met India een zonn satelliet ontwikkelen [17]
- 2015 Caltech en Northrop Grumman richten het Space Solar Power Initiative (SSPI) op [17]
- 2015 JAXA meldt het overseinen van 1,8 kW over een afstand van 50 meter [17]
- 2016 Voorstel voor nieuw model zonn satelliet CASSIOPEIA [17]
- 2017 NASA selecteert vijf onderzoeksvoorstellen rondom investeringen in de ruimte [17]
- 2019 Voorstel van de Kyushu University om 1.600 kleine satellieten op 900 kilometer hoogte stroom te laten opwekken [17]
- 2019 China bouwt een testbasis voor zonn satellieten [17]
- 2020 Engeland gaat de mogelijkheid van Space Based Solar Power (SBSP) onderzoeken [142]
- 2020 Het NRL lanceert een test satelliet [17]
- 2021 Caltech kondigt plan aan voor lancering zonn satelliet in 2023 [17][326]
- 2022 Japan verwacht in 2037 commercieel elektriciteit in de ruimte op te wekken. [41]
- 2022 Het Engelse Space Energy Initiative (SEI) wil in 2035 een zonn satelliet lanceren [213]
- 2022 Het NRL heeft 1,6 kW elektriciteit over 1 km draadloos verzonden. [68]
- 2023 Op 5 januari heeft SpaceX een proefmodel zonn satelliet gelanceerd. [328]
- 2023 In juni 2023 verzendt Caltech vanuit de ruimte stroom naar de aarde. [336]
- 2023 ESA gaat tussen 2023 en 2025 met SOLARIS beginnen, een gericht onderzoek naar zonne-energie uit de ruimte. [293][303][330]
- 2024 Het Engelse bedrijf Solar Space heeft in april met succes de HARRIER getest, een draadloze zender die zonder bewegende delen in alle richtingen energie kan verzenden. [352][362]

Voorwoord

Volgens het Klimaatakkoord zal in Nederland in 2050 alle elektriciteit uit hernieuwbare bronnen moeten komen. Dat gebeurt met windturbines op zee, op land en met zonnepanelen op daken en in zonneparken, zo lezen we op de website van het Klimaatakkoord. Daar ligt ongetwijfeld nog wel een uitdaging, zeker als we ons beseffen dat het aandeel duurzame energie in 2023 slechts 17 procent van het totale energieverbruik in Nederland was. De vraag is dan ook, of het Klimaatakkoord niet een veel te optimistische doelstelling hanteert. Want zo soepel verloopt het tot nu toe niet met de toepassing van duurzame energie in ons land. 'In de maand juli is door gebrek aan energieopslag- en exportmogelijkheden de groei van duurzaam geproduceerde stroom gestagneerd. Windmolens en grote installaties met zonnepanelen werden meermaals afgeschakeld. Daarmee is volgens Energieopwek.nl 11 procent van de potentiële opbrengst van windmolens en zonnepanelen verloren gegaan,' aldus Solar Magazine van 5 augustus 2024.

Een ander punt is of er in de toekomst wel voldoende ruimte zal zijn voor alle wind- en zonneparken in ons land, zo vraagt Frans A. van der Loo zich in zijn boek *Met de wind mee* af: 'De inpassing op land gaat nu al gepaard met weerstand, en op zee kennen we nu al een Noordzeeakkoord om windenergie, natuur en visserij op een goede manier de beschikbare ruimte te laten delen.'

Misschien is hier slechts sprake van een tijdelijk ongemak, en zijn er in de nabije toekomst diverse oplossingen te verwachten. Maar wat in elk geval een zekere geruststelling zal zijn, is dat er binnen afzienbare tijd hoogstwaarschijnlijk een nieuwe techniek beschikbaar zal zijn om grote hoeveelheden duurzame energie tegen betaalbare tarieven te winnen. Het gaat hierbij om *space-based solar power*, ofwel: zonne-energie uit de ruimte. Door het gebrek aan bewolking en de afwezigheid van een dag- en nachtritme is de elektriciteitswinning met zonne-energie in de ruimte op deze manier aanzienlijk hoger dan op aarde. Met behulp van microgolven vindt vervolgens de verzending van de energie naar een ontvanger op het aardoppervlak plaats. Gezien het feit dat de ontvangstantennes in verhouding tot de hoeveelheid opgewekte energie betrekkelijk weinig ruimte innemen, kan deze nieuwe vorm van duurzame energieopwekking ook voor ons dichtbevolkte land van grote betekenis zijn. De verwachting is dat de eerste zonnesatellieten uiterlijk tegen het jaar 2040 in werking zullen gaan. Tijd genoeg voor de Nederlandse overheid om maatregelen te treffen om deze energietechniek

ook in ons land te gaan gebruiken, zodat de doelstelling van het Klimaatakkoord zonder problemen haalbaar zal blijken!

Dit boek laat zien hoe deze grensverleggende vorm van zonne-energie sinds een jaar of vijftig in ontwikkeling is bij verschillende bedrijven en wetenschappelijke instellingen in landen als Japan, China, de Verenigde Staten en Engeland. Een van de grote uitdagingen hierbij is om een zonnesatelliet zodanig te ontwerpen, dat deze niet alleen op een handige manier in de ruimte te construeren is, maar dat deze tevens zo optimaal mogelijk de energie van de zon kan omzetten in elektriciteit. Verschillende modellen zijn in de loop van de tijd al met meer of minder succes ontworpen. Maar ook de volgende stap is van groot belang: hoe verstuur je de elektrische stroom op een efficiënte manier naar aarde. En: hoe staat het met de veiligheid ten aanzien van de gebruikte magnetische straling?

In het slothoofdstuk komt een belangrijk aspect naar voren: wil het winnen van zonne-energie in de ruimte gaan lukken, dan is het niet voldoende dat de technische kant goed in orde is. Er gaat iets aan vooraf, en dat is dat deze nieuwe duurzame techniek bij onder meer de energiebedrijven, projectontwikkelaars en beleidsmakers bovenaan de agenda moet staan. Wanneer dat namelijk niet het geval is, kan de zonnesatelliet in technisch opzicht weliswaar uitstekend functioneren, maar als er bij de betrokken partijen geen draagkracht is maakt de toepassing geen kans. Laten we hopen dat dit boek kan bijdragen tot een positieve besluitvorming op dit gebied.

[369][370][371][372]

1. Inleiding

Ondanks alle oproepen om zuinig met energie om te gaan neemt overal op de wereld het energieverbruik toe. Toenemende mobiliteit, een groeiende behoefte aan industriële producten, de wens tot meer comfort en niet te vergeten een gestaag groeiende bevolking maakt dat de vraag naar energie al jarenlang een stijgende lijn vertoont. En dat is niet zonder problemen, al was het maar omdat het gebruik van energie verantwoordelijk is voor het grootste deel van de mondiale uitstoot aan broeikasgasemissies. Behalve het regelmatig terugkerend pleidooi voor energiebesparing is ook de vraag relevant, welke energiebronnen in de toekomst de beste oplossing zouden kunnen bieden. Welke *duurzame* bronnen, wel te verstaan!

Concentreren we ons op het gebruik van elektriciteit, dan is het niet verwonderlijk dat zonne-energie in dit opzicht hoge ogen kan gooien. Ook in ons land! Wanneer zonnepanelen in de toekomst een rendement van dertig procent zouden bereiken, zou slechts één procent van het oppervlak van Nederland nodig zijn om in de landelijke energiebehoefte te voorzien, zo berekende hoogleraar Cees Daey Ouwens van de Technische Universiteit Eindhoven al in 1972. En hoewel de energievraag sindsdien natuurlijk sterk gestegen is, is de redenering duidelijk: het mogelijke aandeel van zonnestroom is, zelfs in ons noordelijk gelegen land, niet te onderschatten. In 2023 is het aandeel stroom uit groene bronnen gestegen tot 50 procent, in 2022 was dat nog 41 procent. Zonne-energie leverde de meeste stroom (17,6 procent), gevolgd door windmolens op land (15,1 procent), windmolens op zee (9,9 procent), biomassa (7,3 procent) en waterkracht (0,1 procent), zo blijkt uit cijfers van SolarPower Europe.

Ook wereldwijd kan zonnestroom van grote betekenis zijn. Neem bijvoorbeeld de mogelijkheid om met de warmte van de zon elektriciteit op te wekken. Ruim twintig jaar geleden is al aangetoond dat deze zogeheten zonthermische krachtcentrales slechts een oppervlak van 0,19 miljoen km² aan woestijngrond nodig hebben om de toenmalige mondiale behoefte aan elektriciteit te dekken. Nu bezit onze aardbol 35 miljoen km² aan woestijnen, dat maakt dat deze spiegelcentrales slechts een heel klein aandeel van het woestijnoppervlak nodig hebben. Hoewel de mondiale energievraag sindsdien gestegen is, is de redenering duidelijk: het perspectief van deze vorm van zonne-energie is zeer aantrekkelijk.

2. Energetische winst

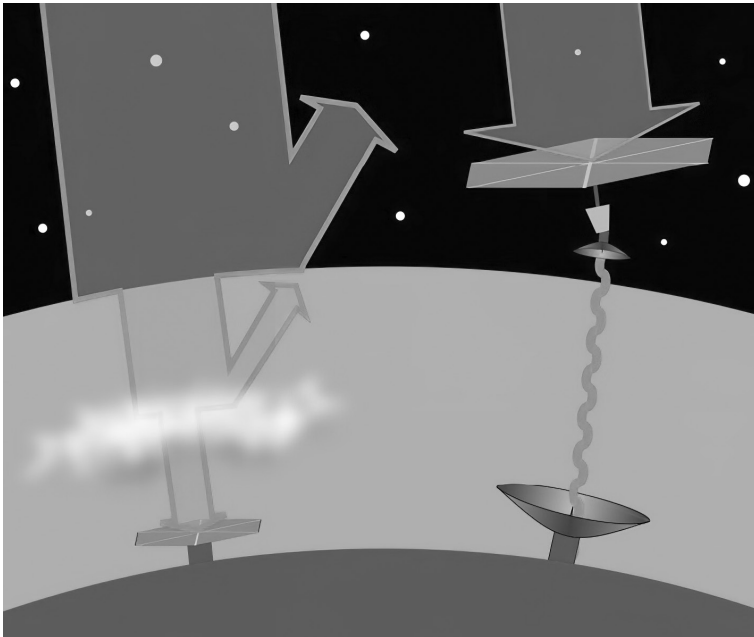
‘Wat als we een nieuwe energiebron zouden kunnen vinden die niet alleen de omgeving van de aarde ongedeed zou laten, maar ook de atmosfeer van onze planeet zou herstellen? Een die grenzeloos is, geen CO₂-uitstoot heeft en zeer concurrerend is met kolen, aardgas en kernenergie?’ Deze alinea staat te lezen op de website van de Amerikaanse National Space Society (NSS), een niet-gouvernementele organisatie (NGO), met als doelstelling het duurzaam ontwikkelen van de ruimte. De organisatie memoreert in dit verband de veel gehoorde stelling dat de zon in een uur meer energie naar de aarde zendt dan we in een jaar verbruiken. Concreet lezen we dat de energie van het zonlicht in de ruimte ongeveer 1.368 watt (W) per vierkante meter (W/m²) bedraagt, op aarde is deze opbrengst ’s middags bij de evenaar hooguit 1.000 W/m², een verschil van 27 procent. De dag/nacht cyclus verlaagt het gemiddeld vermogen aan zonlicht op aarde vervolgens tot ongeveer 400 W/m². Daarnaast zijn er nog de weersinvloeden: door lichte bewolking slinkt het vermogen met ongeveer 20 procent, zware bewolking zorgt voor een verminderde opbrengst van 70 tot 80 procent. De website Nemo Kennislink komt met iets andere getallen: één vierkante meter zonnepaneel vangt in de ruimte 1.366 W aan zonne-energie op, terwijl datzelfde oppervlak op aarde gemiddeld slechts 250 W kan verwachten. De ruimtevaartdeskundige John Mankins noemt in zijn boek *The case for space solar power*: ‘De combinatie van deze factoren maakt dat de beschikbare zonne-energie in de ruimte rond geosynchrone banen (GSO) of hoger ongeveer tien keer groter is dan de beste gemiddelde hoeveelheid beschikbare energie op de meeste locaties op aarde.’ Ook Duan Baoyan, lid van de Chinese Academy of Engineering (CAE), stelt dat zonnepanelen in de ruimte tien keer zoveel stroom kunnen opwekken dan zonnepanelen op aarde van dezelfde afmetingen. Ali Hajimiri, onderzoeker bij het California Institute of Technology (Caltech) is iets voorzichtiger en houdt het erop dat er in de ruimte acht keer meer energie te winnen is dan op aarde.

Daarnaast zijn er deskundigen die erop wijzen dat bij bijzondere weersomstandigheden de energetische winst van zonne-energie uit de ruimte nog veel groter kan zijn. Een publicatie van het Beyond Earth Institute stelt bijvoorbeeld: ‘Het weer kan de zon dagen of weken achtereen blokkeren (d.w.z. wolken, mist, regen, sneeuw enz.), wat betekent dat het beschikbare zonlicht in de ruimte 10 tot 40 keer groter kan zijn dan dat op aarde.’

Welke uitspraak ten aanzien van deze rekenpartijen exact de juiste waarde levert is misschien niet heel erg relevant. Feit is dat het hoe dan ook uit energetisch oogpunt gezien erg aantrekkelijk is om zonne-energie in de ruimte op te vangen en om daarmee elektriciteit te produceren. Vervolgens is het zaak om de opgewekte stroom zo veilig en efficiënt mogelijk naar de aarde te versturen.

Maar waarom zijn die zonnesatellieten er dan nog niet? Het idee is niet bepaald nieuw en is al minstens zestig jaar geleden wetenschappelijk onderbouwd naar voren gebracht. Is de techniek zo ingewikkeld? Is er wel voldoende draagvlak? Of zijn de kosten extreem hoog? Feit is wel dat de mogelijkheid tot het winnen van zonne-energie in de ruimte vandaag de dag op meer belangstelling kan rekenen dan ooit tevoren. Zowel in China als Engeland lopen concrete initiatieven om deze vorm van energiewinning op redelijk korte termijn toe te gaan passen. Ook de European Space Agency (ESA) is bezig met het ontwikkelen van technieken om het opwekken van elektriciteit in de ruimte binnen afzienbare tijd te realiseren.

[26][50][81][82][84][117][255][299][309]



AFBEELDING 2. Energetische winst door gebrek aan absorptie of reflectie